

FTI
E30

TK 43.889

55

KFKI-73-13

Kötél Gy.
Andrási A.

PROGRAMSOROZAT SZCINTILLÁCIÓS DETEKTOR
HATÁSFOKÁNAK SZÁMITÁSÁRA

Hungarian Academy of Sciences

CENTRAL
RESEARCH
INSTITUTE FOR
PHYSICS



BUDAPEST

PROGRAMSOROZAT SZCINTILLÁCIÓS DETEKTOR HATÁSFOKÁNAK
SZÁMITÁSÁRA

Kötél Gy., Andrási A.

Központi Fizikai Kutató Intézet, Budapest
Sugárvédelmi Főosztály

KIVONAT

A KFKI NS-206 típusu egésztestszámlálójának számítással történő hitelesítése és a mérések optimalizálása érdekében ICT-1905-ös számítógépre egy 11 db ALGOL nyelven írt programból álló sorozat készült.

A DAO0 nevű program egy empirikus hatásfokformula paramétereinek kiszámítását végzi el. Ezen formula felhasználásával a DAO1-DAO3 programok az egésztestszámláló 6"x4" detektorának teljes energiacsucs - hatásfokát adják meg, különböző mérési geometriák /szék, ív, scanning/ mellett, pontszerű forrás esetére. A DAO4-DAO10 nevű programokkal a számításokat térfogati forrásokra is kiterjesztettük /mint pl. a BOMAB típusu ember-fantom/.

A dolgozatban röviden ismertetjük a számítási módszert, megadjuk az algoritmusokat, valamint az input és output adatokat.

РЕЗЮМЕ

С целью калибровки счетчика излучения человека типа NS-206, изготовленного в ЦИФИ, а также для оптимизации измерений была разработана серия из 11 программ для ЭВМ типа ICT-1905, написанных на языке ALGOL.

Программа DAO0 служит для вычисления параметров формулы эффективности. При помощи этой формулы программы DAO1-DAO3 определяют эффективность фотопика детектора размером 6"x4" счетчика излучения человека при различных геометриях измерений /геометрия стандартного кресла, дуги, сканирования/, для точечного источника. С помощью программ DAO4-DAO10 вычисления были расширены также и для пространственных источников /напр. для человеческого фантома типа BOMAB/.

В работе коротко описываем метод вычисления, сообщаем алгоритмы, а также входные и выходные данные.

ABSTRACT

A set of eleven ALGOL programs for ICT-1905 computer has been designed for the calibration and optimization of the measurements carried out with the NS-206 type whole body counter of the Central Research Institute for Physics.

The DAO0 program is devised to compute the parameters of an efficiency formula which, in turn, is used in the DAO1-DAO3 programs for determining the full energy peak efficiency of the 6"x4" detector in different measurement geometries /chair, arc, scanning/ for point source. The calculations also were extended for distributed sources /e.g. the BOMAB type human phantom by using the DAO4-DAO10 programs.

In this paper the method of calculation, the algorithms and the input-output data are presented.

B e v e z e t é s

Jelen összeállítás szcintillációs detektor teljes energia-csúcs hatásfokának számítására szolgáló algoritmusokat és program-sorozatot ismertet. A sorozat ICT 1900-as ALGOL nyelven írt 11 programja a KFKI 1905-ös számítógépén került kipróbálásra.

Az ismertetés három fejezetre tagolódik. Az 1. fejezet egy függvénykonstrukciós módszert tárgyal detektor pontforrásra vonatkozó hatásfokának közelítésére. Csupán a formulák paraméterei detektorfüggők, a DAOO programba beépített algoritmus más berendezés esetén is alkalmazható. A számításokat a KFKI NS-206 típusu egésztestszámlálójának 6"x4" NaI/Tl/ detektorára végeztük el. A további két fejezetben ismertetésre kerülő programok - változtatás nélkül - csak a fenti berendezéssel kapcsolatos számítások elvégzésére alkalmasak, mert a pontforrásra vonatkozó hatásfok-formulák paramétereit numerikusan tartalmazzák. A 2. fejezet pontszerű, a 3. fejezet pedig térfogati források esetére kidolgozott módszereket, algoritmusokat, illetve ezeken alapuló programokat ismertet. A pontszerű forrásra vonatkozó hatásfok-függvények előállítása után, a jelzett berendezéssel kapcsolatos további számításokban a DAOO programra már nincs szükségünk. A többi program /különösen a fantommal kapcsolatos számításokat végző programok/ viszont bármely időpontban hasznos szolgálatokat tehet hitelesítési munkáink során. Éppen ezért a 2. és 3. fejezet végén az input- és outputtal kapcsolatos kérdésekre is kitérünk.

1. fejezet

Detektor teljes energia-csúcs hatásfokának közelítő meghatározása pontszerű forrás esetén.

A DAOO program

Pontforrásokkal végzett mérések alapján, egyváltozós függvény-közelítések /görbeillesztés/ szukcesszív alkalmazásával - elektronikus számológép segítségével - előállítottuk egy egésztetszámláló berendezés 6"x4" NaI/Tl/ detektorának teljes energia-csúcs hatásfokát a pontforrás helykoordinátái/1. ábra/ és az energia

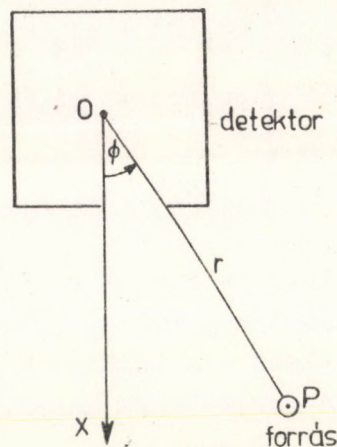
$$\eta'(r, \phi, E) = \frac{p_1(\phi, E)}{r^2} + \frac{p_2(\phi, E)}{r^4} \quad /1/$$

alakú függvényében.

A probléma hengersizmetrikus. Tekintsünk egy, a hengeres detektor tengelyén átmenő metszősíkot, amelyben a pontszerű forrást elhelyezzük, s vegyük fel az OX polár-koordinátarendszert, ahol az O pólus a detektor geometriai középpontjával, az OX polár-tengely pedig a detektor tengelyével esik egybe. A sík egy tetszőleges P pontjában elhelyezett forrás geometriai helyzetét a pont

$$r = OP, \quad \phi = (\angle OX, OP)$$

polár-koordinátái / $0 \leq \phi < 2\pi$ esetén/ egyértelműen meghatározzák.



A detektor - forrás geometria vázlatos elrendezése.
1. ábra

A pontforrást fizikailag r, \varnothing és a sugárzás E kvantumenergiája jellemzi.

Feladatunk a fotocúcshatásfok egy $\eta'(r, \phi, E)$ közelítésének előállítása (r_1, ϕ_j, E_k) pontokban történő mérések alapján. Az $\eta'(r, \phi, E)$ háromváltozós függvényt egyváltozós függvény-közelítések /görbeillesztés/ szukcesszív alkalmazásával állítjuk elő. Minden egyes közelítés a súlyozott legkisebb négyzetek módszerével történik. A közelítő függvény ismeretlen paramétereit úgy határozzuk meg, hogy a mérési pontokban mért és számított függvényértékek relatív eltéréseinek négyzetösszege minimális legyen.

A fizikai megfontolásokból adódó /1/ függvényre végeztünk méréseket az (r_1, ϕ_j, E_k) pontokban $i=1, 2, \dots, l_{jk}; j=1, 2, \dots, m_k; k=1, 2, \dots, n/$.

A $7 \leq l_{jk} \leq 16, m_k = 15, n = 5$ értékekkel dolgoztunk.

Első lépésben a \varnothing, E -függéstől eltekintünk, s a rögzített ϕ_j, E_k értékek melletti mérési adatainkat fitteljük változó r mellett / radiálisan / az / 1 / alakú függvényrel. Minden j, k -ra meghatározzuk a p_1, p_2 paraméterek numerikus értékeit. Ilymódon adatokat kapunk a $p_1 / \varnothing, E / , p_2 / \varnothing, E /$ függvényekre.

A második lépésben ezeket az adatokat / az első lépés eredményei / fitteljük a

$$p_1(\phi, E) = p_{11}(E) + p_{12}(E) \cdot \phi = \begin{cases} p'_{11}(E) + p'_{12}(E) \cdot \phi, & \text{ha } 0 \leq \phi < \pi/4 \\ p''_{11}(E) + p''_{12}(E) \cdot \phi, & \text{ha } \pi/4 \leq \phi < 0,44\pi \end{cases} \quad /2/$$

$$p_2(\phi, E) = p_{21}(E) + p_{22}(E) \cdot \phi = \begin{cases} p'_{21}(E) + p'_{22}(E) \cdot \phi, & \text{ha } 0 \leq \phi < \pi/4 \\ p''_{21}(E) + p''_{22}(E) \cdot \phi, & \text{ha } \pi/4 \leq \phi < 0,44\pi \end{cases}$$

függvényekkel, amelyek mellett az adatok grafikus ábrázolása alapján dönthetünk. Az E -függéstől még itt is eltekintünk. Minden rögzített E_k -ra, változó \varnothing mellett - a legkisebb négyzetek módszerével - meghatározzuk az ismeretlen paraméterek numerikus értékeit. A / 2 / alatti formulákat / 1 / - be helyettesítve, a kiindulási E_k energiaszinteken már r - és \varnothing - ben folytonos

$$\eta'_k(r, \phi, E) = \eta'(r, \phi, E_k) = \frac{p_{11}(E_k) + p_{12}(E_k) \cdot \phi}{r^2} + \frac{p_{21}(E_k) + p_{22}(E_k) \cdot \phi}{r^4} \quad /3/$$

függvényekkel rendelkezünk.

A harmadik lépésben további görbeillesztésekkel meghatározzuk a / 2 / függvények paramétereinek energiafüggését e paraméterekre kapott numerikus adatokat E-ben fittelve - ugyancsak a geometriai szemléltetés alapján kinálkozó -

$$\begin{aligned} p_{11}(E) &= \exp[p_{111} + p_{112} \cdot E + p_{113} \cdot E^2] \\ p_{12}(E) &= -\exp[p_{121} + p_{122} \cdot E + p_{123} \cdot E^2] \\ p_{21}(E) &= p_{211} + p_{212}/E \\ p_{22}(E) &= p_{221} + p_{222}/E \end{aligned} \quad /4/$$

alaku függvényekkel, amelyek paramétereit már konstansok. Természetesen, e paraméterek / 2 /-nek megfelelően itt is megduplázódnak. Helyettesítsük a / 4 / alatti formulákat / 2 /-be. A következőket kapjuk:

$$\begin{aligned} p_1(\phi, E) &= \exp[p_{111} + p_{112} \cdot E + p_{113} \cdot E^2] - \phi \cdot \exp[p_{121} + p_{122} \cdot E + p_{123} \cdot E^2] \\ p_2(\phi, E) &= p_{211} + p_{212}/E + \phi \cdot [p_{221} + p_{222}/E] \end{aligned} \quad /5/$$

Végül / 5 /-t / 1 /-be helyettesítve, előáll a kívánt

$$\begin{aligned} \eta'(r, \phi, E) &= \frac{1}{r^2} \left\{ \exp[p_{111} + p_{112} \cdot E + p_{113} \cdot E^2] - \phi \cdot \exp[p_{121} + p_{122} \cdot E + p_{123} \cdot E^2] \right\} + \\ &+ \frac{1}{r^4} \left\{ p_{211} + p_{212}/E + \phi \cdot [p_{221} + p_{222}/E] \right\} \end{aligned} \quad /6/$$

háromváltozós függvény.

A görbeillesztésekhez mindhárom lépésben végülis legfeljebb másodfokú polinomra volt szükségünk. Az ismertetett - három lépcsőből álló - függvénykonstrukciós algoritmus a DAOO program segítségével bármely detektorra bármikor reprodukálható.

A 6"x4" NaI/Tl/ detektor / 3 / és / 6 / hatásfok-formuláiban szereplő paraméterek numerikus értékeinek táblázatát a KFKI-72-11 riportban közöltük. A / 3 / és / 6 / függvények - azon túlmenően,

hogy tabellázásuk önmagában is érdekes - további számítások alapját képezik. A / 6 / formulával számolt hatásfok hibája az

$$500 \text{ keV} \leq E \leq 1836 \text{ keV}$$

intervallumban legfeljebb 5 % volt.

Az $E_k = 122, 279, 662, 1275, 1836 \text{ keV}$ energiaszinteken előállított / 3 / függvények, amelyekben a paraméterek energiafüggése megmaradt, / 6 /-nál természetesen pontosabb közelítést szolgáltatnak.

A DAOO program funkciója:

- / 1 /, / 2 / és / 4 / alakú görbék illesztése / 3 / és / 6 / előállítása céljából
- / 3 / és / 6 / adott / r, \varnothing , E / ill. / x, y, E / pontokban történő tabellázása / $x = r \cos \varnothing$, $y = r \sin \varnothing$ /
- táblázatok készítése a mért és számított hatásfokértékek / r_i , \varnothing_j , E_k / mérési pontokban való összehasonlítására /relatív eltérések számítása/

A / 3 / és / 6 / függvények kiszámítására ICT 1900-as ALGOL programokba beépíthető külön eljárásokat /real procedure/ készítettünk.

2. fejezet

Detektor pontforrásra vonatkozó teljes energia-csúcs hatásfokának számítása adott geometriai elrendezés esetén.

A DAO1, DAO2, DAO3 programok.

A továbbiakban minden / 6 /-ra való hivatkozás egyben a mérési energiákhoz / de csak azokhoz / tartozó / 3 / formulákra is vonatkozik. / 6 / a detektor levegőben elhelyezett pontforrásra vonatkozó hatásfokát adja. $\mu = \mu / E$ gyengítési tényezővel jellemezhető közeg esetén a hatásfokot

$$\eta(r, \phi, E) = \eta'(r, \phi, E) \exp[-\mu \cdot S]$$

közelíti, ahol

- r a detektor geometriai középpontjának a forrástól mért távolsága
- ϕ a pontforrást és a detektor középpontját összekötő egyenesnek a detektor tengelyével bezárt szöge
- E a sugárzás kvantumenergiája
- S a gyengítési úthossz.

A 6"x4" NaI/Tl/detektorra vonatkozó közelítésnél

$$\begin{aligned} 20 \text{ cm} &\leq r \leq 160 \text{ cm} \\ 0 &\leq \phi \leq 0,44\pi \\ 122 \text{ keV} &\leq E \leq 1836 \text{ keV} \end{aligned}$$

volt a / 7 / függvény értelmezési tartománya.

Tekintsük egy adott geometria által megengedett lehetséges detektor-elhelyezések $O_1, O_2, \dots, O_i, \dots, O_m$ véges sorozatát. Az O_i középpontú detektor tetszőleges P_k pontforrásra vonatkozó teljes energia-csúcs hatásfokát / 7 / alapján $\eta / r_{ik}, \phi_{ik}, E$ / adja, ahol $r_{ik} = O_i P_k$, ϕ_{ik} pedig $O_i P_k$ -nak a detektor tengelyétől mért irány-szögét jelenti.

Az $\{O_i\}$ sorozat és a P_k forrás által meghatározott rendszer esetén a berendezés hatásfokát az

$$\eta_k = \frac{1}{m} \sum_{i=1}^m \eta(r_{ik}, \phi_{ik}, E) \quad /8/$$

számtani középpel definiáljuk.

Szék- és ivgeometriában / 7 /-ből számoljuk a hatásfokot. Scanning geometria esetén a - továbbiakban η_k^{sc} -vel jelölt - / 8 / formulát, a scanning-end-stop módszer esetén pedig az

$$\eta_k^{sce} = \frac{1}{1+2\tau/T} \left\{ \eta_k^{sc} + \frac{\tau}{T} \left[\eta(r_{1k}, \phi_{1k}, E) + \eta(r_{mk}, \phi_{mk}, E) \right] \right\} \quad /9/$$

formulát alkalmazzuk a detektor P_k pontforrásra vonatkozó hatásfokának közelítésére / T a scanning futási idő, τ pedig a továbbmérési idő a scanning-pálya végpontjaiban / $\tau = 0$ -ra $\eta_k^{sce} = \eta_k^{sc}$, azaz / 9 / a / 8 /-ba megy át.

A jelzett berendezésre vonatkozóan számításokat végeztünk az említett geometriákban, s ezek leírása, táblázatokkal és ábrákkal kiegészítve, megtalálható a KFKI-70-7 reportban. Az alkalmazott programok: DAO1, DAO2, DAO3.

A programsorozat funkciója:

detektor teljes energia-csúcs hatásfokának számítása /az energiafüggést figyelmen kívül hagyó és figyelembevevő esetben egyaránt/

- szék- és ivgeometriában /2.- és 3. ábra/ /DAO1/
- scanning geometriában /scanning-end-stop módszerrel/ /4. ábra/ /DAO2, DAO3/

az alábbi módon megadott - r, ϕ koordinátájú - pontforrásokra

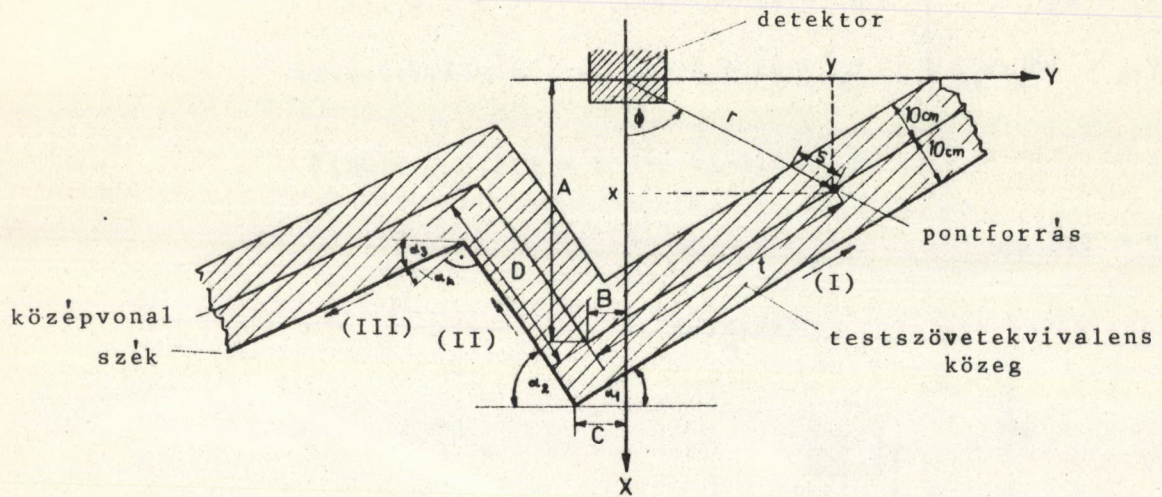
$$r_k = (x_k^2 + y_k^2)^{1/2}, \quad \phi_k = \arctg|y_k/x_k|$$

$$(I) \quad \left. \begin{aligned} x_k &= A - t_k \sin \alpha_1 \\ y_k &= -B + t_k \cos \alpha_1 \end{aligned} \right\} \quad t_k = 10(k-1) \quad ; \quad k = 1, 2, \dots, 10$$

$$(II) \quad \left. \begin{aligned} x_k &= A - t_k \sin \alpha_2 \\ y_k &= -(B + t_k \cos \alpha_2) \end{aligned} \right\} \quad t_k = 10(k-1) \quad ; \quad k = 1, 2, \dots, 6$$

$$(III) \quad \left. \begin{aligned} x_k &= A - D \sin \alpha_2 + t_k \sin \alpha_3 \\ y_k &= -(B + D \cos \alpha_2 + t_k \cos \alpha_3) \end{aligned} \right\} \quad t_k = 10(k-1) \quad ; \quad k = 1, 2, \dots, 6$$

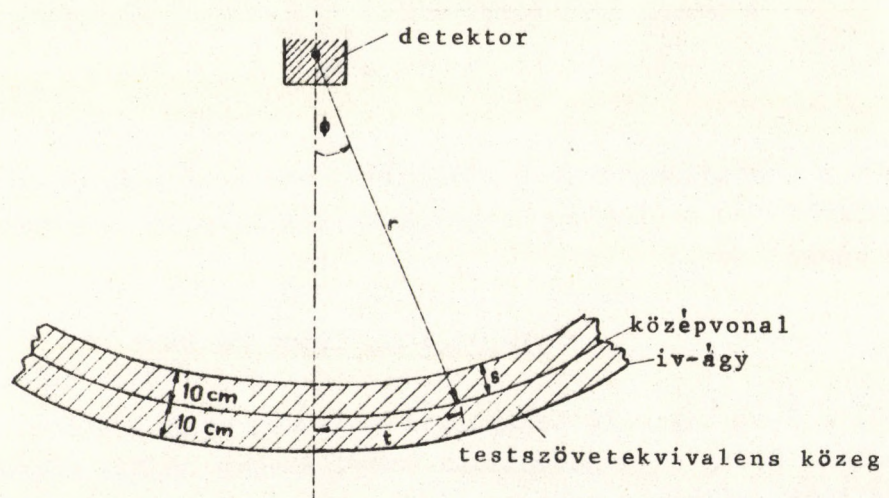
$$A = 50 \text{ cm}, \quad B = 8 \text{ cm}, \quad C = 10 \text{ cm}, \quad D = 40 \text{ cm}$$



A pontforrás elhelyezése szék-geometriában

2. ábra

$$\left. \begin{array}{l} r_k = r = 120 \text{ cm} \\ \varnothing_k = t_k / r \end{array} \right\} \quad t_k = 10 / (k-1) ; k = 1, 2, \dots, 10$$



A pontforrás elhelyezése ív-geometriában

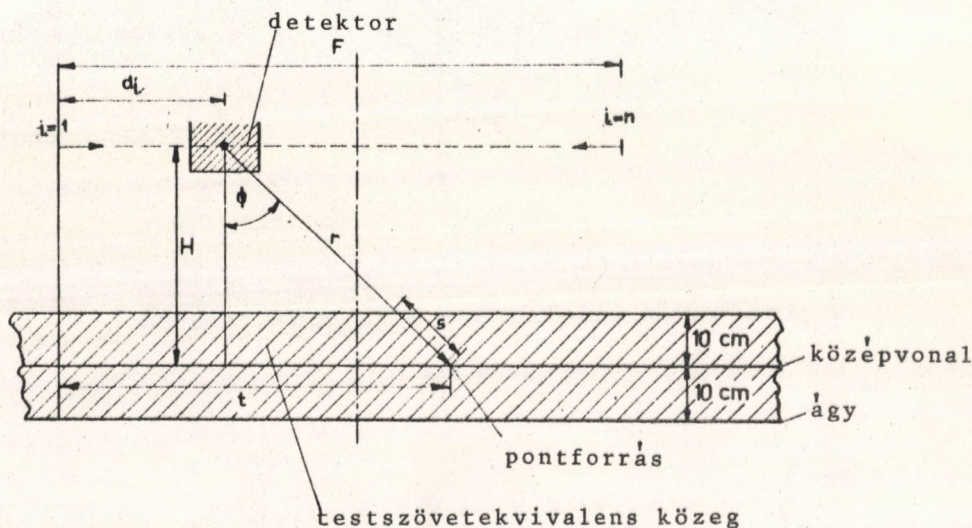
3. ábra

$$r_{ikl} = (x_l^2 + y_{ik}^2)^{1/2}, \quad \phi_{ikl} = \arctg |y_{ik}/x_l|$$

$$\left. \begin{array}{l} x_l = H_l \\ y_{ik} = |d_i - t_k| \end{array} \right\} \begin{array}{l} H_l = 25 + 5(l-1); \quad l = 1, 2, \dots, 7 \\ t_k = 63 + 10(k-1); \quad k = 1, 2, \dots, 13 \end{array}$$

$$d_i = 6(i-1); \quad i = 1, 2, \dots, n (=22)$$

$$F = 126 \text{ cm}$$



A pontforrás elhelyezése scanning-geometriában

4. ábra

DAO3 a scanning-end-stop módszerrel való számolások keretén belül maximális és minimális hatásfokértékek relatív eltéréseinek meghatározását végzi.

Kapcsolók, input adatok:

DA01 a 7-es kapcsoló bekapcsolt állásban csak a szék-, az 5-ös kapcsolóra pedig az ivgeometriai számításokat hajtja végre. Kapcsolóbeállítás nélkül a program mind a két geometriával kapcsolatos számításokat elvégzi / szék-, ivgeometria sorrendben/.

Ugyanezen kapcsolókkal, s ugyanilyen módon szelektál DA02 a scanning geometria és a scanning-end-stop módszer között.

Székgeometriai számítások esetén DA01 első négy input adata a döntött szék fekvését meghatározó

$\alpha_1, \alpha_2, \alpha_3, \alpha_4$ szögek fok-ban mért értéke.

DAO2 és DAO3 a scanning-end-stop módszerrel történő számítások esetén elsőnek a

T scanning futási idő értékét olvassa be.

A további bemenő adatok mindhárom programra /DAO1, DAO2, DAO3/ nézve, bármely kapcsoló-állásban közösek:

$$kiv \begin{cases} = 1 & \text{- energiatfüggés nélküli eset} \\ = 2 & \text{- energiatfüggést figyelembevevő számítások} \\ < 0 & \text{esetén a program befejezi futását} \end{cases}$$

$$E \begin{cases} > 0 & \text{az energia} \\ < 0 & \text{esetén a program áttér "kiv" következő értékének olvasására} \end{cases}$$

$$\mu \begin{cases} > 0 & \text{az aktuális E energiaszinthez tartozó gyengítési tényező} \\ < 0 & \text{esetén a program E következő értékét olvassa} \end{cases}$$

Output adatok :

DAO1 minden μ -re t_k függvényében kinyomtatja a székgeometriára számolt

$$\eta_k = \eta(r_k, \phi_k, \mu) \quad \text{abszolút és} \quad \eta_k^{\text{rel}} = \eta_k / \eta_{\text{max}} \quad \text{relatív}$$

hatásfokokat,

ahol η_{max} egy adott μ -höz tartozó, s a 2. ábra (I), (II), (III) alatti pontjaiban kiszámított összes η_k közül a legnagyobb; ivgeometria esetén /3. ábra/ az

$$\eta_k \quad \text{abszolút és az} \quad \eta_k^{\text{rel}} = \eta_k / \eta(r, \phi_1, \mu) \quad \text{relatív}$$

hatásfokokat.

DAO2 minden μ -re T_k -63 és H_1 függvényében kiírja a scanning geometriában /4. ábra/ számolt

$$\bar{\eta}_{kl}^{\text{sc}} = \bar{\eta}^{\text{sc}}(t_k, H_l, \mu) = \frac{1}{22} \sum_{i=1}^{22} \eta(r_{i,k,l}, \phi_{i,k,l}, \mu) \quad \text{abszolút és}$$

$$\bar{\eta}_{kl}^{\text{sc rel}} = \bar{\eta}_{kl}^{\text{sc}} / \bar{\eta}_{11}^{\text{sc}} \quad \text{relatív hatásfokokat.}$$

A fentiekhez hasonló, külön táblázat készül a t_1 -63=0, t_6 -63=50, t_9 -63=80, t_{11} -63=100 értékekhez tartozó

relatív hatásfokok
megjelenítésére.

Minden μ -re megkapjuk a scanning-end-stop módszerrel /4. ábra/ számolt

$$\bar{\eta}_{k,\ell,n}^{\text{sce}} = \bar{\eta}_n^{\text{sce}}(t_k, H_\ell, \mu) = \frac{1}{1+2\tau_n/T} \left\{ \bar{\eta}_{k\ell}^{\text{sc}} + \frac{\tau_n}{T} \left[\eta(r_{1,k,\ell}, \phi_{1,k,\ell}, \mu) + \eta(r_{m,k,\ell}, \phi_{m,k,\ell}, \mu) \right] \right\}$$

abszolút és $\eta_{k,\ell,n}^{\text{sce,rel}} = \bar{\eta}_{k,\ell,n}^{\text{sce}} / \bar{\eta}_{1,\ell,n}^{\text{sce}}$ relatív hatásfokokat

t_k -63, H_1 és τ_n/T függvényében, ahol $\tau_n = n-1$ / $n=1,2,\dots,7$ /.

DAO3 minden μ -re $H_1=H=40$ cm mellett t_k -63 / $k=5,6,7,8$ / és τ_n/T függvényében kiírja a

$$\Delta \eta_{k,2,n}^{\text{sce}} = 2 \frac{\max \eta_{k,2,n}^{\text{sce}} - \min \eta_{k,2,n}^{\text{sce}}}{\max \eta_{k,2,n}^{\text{sce}} + \min \eta_{k,2,n}^{\text{sce}}} \cdot 100 \quad \text{százalékos}$$

relatív eltéréseket,
ahol fix k -ra $\max \eta_{k,2,n}^{\text{sce}}$ ill. $\min \eta_{k,2,n}^{\text{sce}}$ a scanning-end-stop
módszerrel számolt $\bar{\eta}_{j,2,n}^{\text{sce}}$ hatásfokértékek maximuma ill. minimuma,
midőn j végigfut a $j=1,2,\dots,k$ értékeken.

3. fejezet

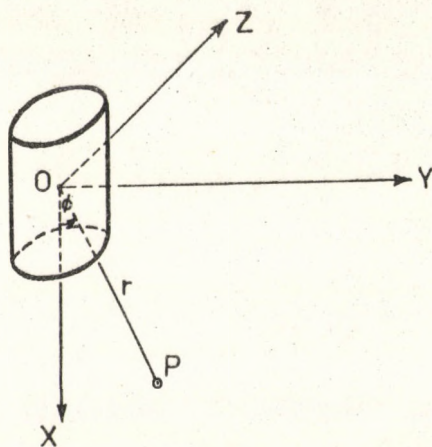
Detektor térfogati forrásra vonatkozó teljes energia-csúcs hatásfokának számítása adott geometriai elrendezés esetén.

A DAO4, DAO5, DAO6, DAO7, DAO8, DAO9, DAO10 programok.

/ 7 / térfogati integrálásával meghatároztuk a berendezés hatásfokát egy BOMAB típusu ember-utánzó fantom esetére. A számításokat homogén forráseloszlást feltételezve, 0.1 - 2.0 MeV energiatartományban szék-, iv- és scanning-geometriáknál egyaránt elvégeztük. Megmutattuk a módszer alkalmazhatóságát olyan inhomogén eloszlás esetére is, amikor a forrás a fantomon belül csupán egy jól meghatározható szervben található. A mért és számított értékek közti eltérés 4 %-nál kisebbnek adódott.

A detektorhoz rögzített térbeli Descartes-féle derékszögű koordinátarendszertől / 5. ábra / és az alábbiakban $\eta^P(r, \phi, E)$ -vel jelölt / 7 / alatti függvényből indulunk ki.

$$\eta^P(r, \phi, E) = \eta^P(x, y, z, E) ; \quad r = (x^2 + y^2 + z^2)^{1/2}, \quad \phi = \arctg \frac{(y^2 + z^2)^{1/2}}{x}$$



A koordináta-rendszer megválasztása

5. ábra

Tekintsük homogén térfogati források valamely $T_1, T_2, \dots, T_j, \dots, T_n$ és forrásmentes közegek T_{n+1}, \dots, T_N valamint egy adott geometria által megengedett lehetséges detektor-elhelyezések $O_1, O_2, \dots, O_1, \dots, O_m$ véges sorozatát. Rögzített i - és j -re $P(x, y, z) \in T_j$ esetén alkalmazzuk az $\eta_{ij}^{(P)} = \eta^{(P)}$ jelölést.

Tetszőleges T_j térfogati forrásra az O_1 középpontu detektor teljes energia-csúcs hatásfokát

$$\begin{aligned} \eta_{ij}(E) &= \frac{1}{V_j} \iiint_{T_j} \eta_{ij}^{(P)}(r, \phi, E) dx dy dz \equiv \\ &\equiv \frac{1}{V_j} \iiint_{T_j} \eta_{ij}'^{(P)}(r, \phi, E) \exp[-\mu(E) \cdot s(x, y, z)] dx dy dz \quad /10/ \end{aligned}$$

definiálja, ahol

V_j a T_j tartomány térfogata

μ a gyengítési tényező

s a gyengítési úthossz /az $O_1 P$ egyenes

T_k / $k=1, 2, \dots, N$ / tartományokba eső szakaszainak hosszösszege/

Képezzük az alábbi számtani közepeket:

$$\eta_j(E) = \frac{1}{m} \sum_{i=1}^m \eta_{ij}(E) \quad /11/$$

$$\eta_i(E) = \frac{1}{V} \sum_{j=1}^n V_j \eta_{ij}(E) \quad /V = \sum_{j=1}^n V_j/ \quad /12/$$

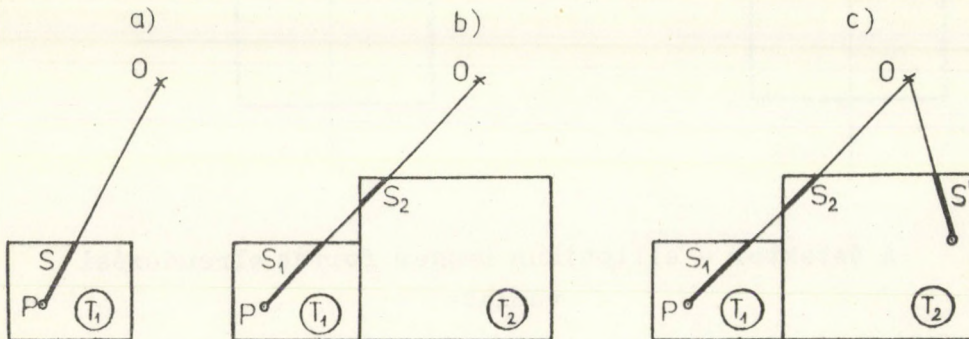
$$\eta(E) = \frac{1}{m} \sum_{i=1}^m \eta_i(E) \equiv \frac{1}{V} \sum_{j=1}^n V_j \eta_j(E) \quad /13/$$

/11/ az $\{O_1\}$ sorozat és egy rögzített T_j térfogati forrás,

/12/ az O_1 középpontu detektor és a $\{T_j\}$ sorozat,

/13/ pedig az $\{O_1\}$ és $\{T_j\}$ sorozatok által meghatározott rendszerre definiálja a hatásfokot.

A továbbiakban T_j jelentsen elliptikus hengert /amely majd egy emberi testrészt reprezentálhat/. Az s gyengítési uthossz számításának illusztrálására tekintsük a 6. ábrát, ahol a rajz síkja az alakzat keresztmetszetét származtatja.



A gyengítési uthosszak számításának lehetséges esetei

6. ábra

/10/ alapján számoljuk a hatásfokot egyetlen T_1 térfogati forrásra /6. a. és 6. b. ábra/. A 6. b. ábra esetén, amikor egy további T_2 gyengítési közeg is jelen van, az $S=S_1+S_2$ gyengítési uthosszakkal dolgozunk. /12/ adja a detektor hatásfokát a T_1 , T_2 forrásokból álló, 6. c. ábra szerinti alakzatra vonatkozóan, ahol a gyengítési uthosszra

$$S = \begin{cases} S_1 + S_2 & , \quad \text{ha} \quad \text{PET}_1 \\ S & , \quad \text{ha} \quad \text{PET}_2 \end{cases}$$

Az $S = \sum_k S_k$ gyengítési uthossz kiszámításához térbeli egyenesnek síkkal ill. hengerpalásttal / a T_k tartományok határfelületei/ való metszéspontját kell meghatároznunk.

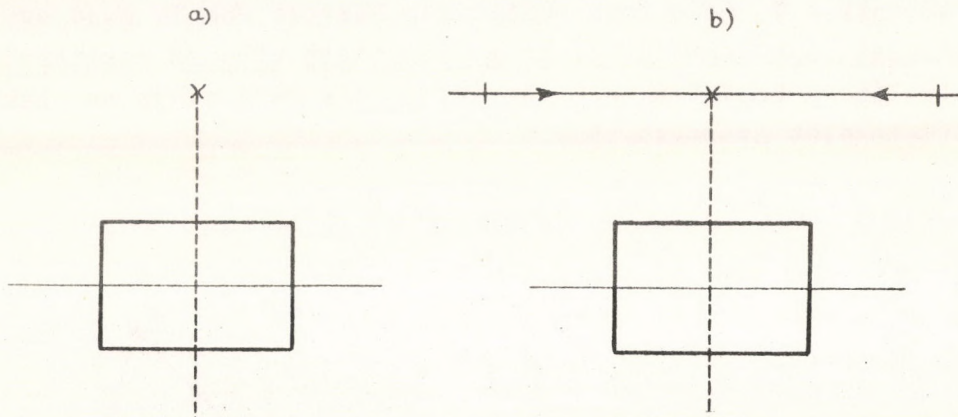
Koordináta-transzformációval bármely elliptikus henger egyenlete kanonikus alakra hozható.

A metszéspont koordinátáit meghatározó egyenletrendszert megoldottuk, és az egyszerű megoldóképletet programoztuk.

Fantom esetén még a programozás előtt előre eldöntöttük, hogy az egyes testrészekre történő hatásfokszámításoknál mely további testrészeket kell az áthatások számításához figyelembe venni.

Egyetlen elliptikus hengerre, rögzített detektor esetén /7. a. ábra/ /10/-ből, scanning geometriában /7. b. ábra/ pedig /11/-ből számítjuk

a hatásfokot.



A detektor - elliptikus henger forrás elrendezési
vázlata

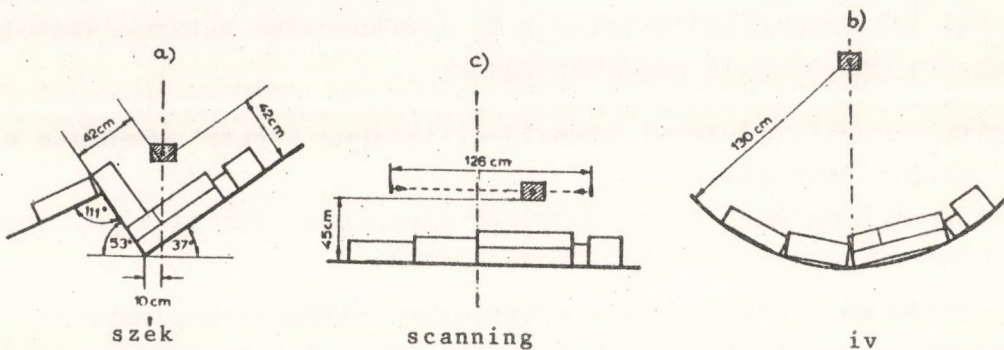
7. ábra

A T_j / $1 < j < n = 10$ / elemekből mint testrészekből felépített BOMAB emberfantomra a berendezés teljes energia-csúcs hatásfokát szé-
/8. a ábra / és iv- /8.b ábra/ geometriában /12/ adja, scanning geo-
metria esetén /8.c. ábra/ pedig a - továbbiakban η^{sc} -vel jelölt - /13/
függvénnyel közelítjük.

A scanning-end-stop módszer alkalmazásakor az

$$\eta^{sce}(E) = \frac{1}{1+2\tau/t} \left\{ \eta^{sc}(E) + \frac{\tau}{t} \left[\eta_{i=1}(E) + \eta_{i=m}(E) \right] \right\} \quad /14/$$

formulát használjuk a hatásfok közelítésére, ahol η^{sc} a /11/ ill.
/13/ alatti kifejezést jelöli aszerint, hogy egyetlen testrészről, vagy
fantomról van szó. $\tau=0$ -ra /14/ a /11/ ill. /13/ kifejezésbe megy át.



BOMAB típusu fantom elhelyezkedése a három mérési geometriában

8. ábra

A /12/, /13/ definíciók érvényességi köre tág. Homogén rendszerhez az $N=n$ választással jutunk. Inhomogén rendszerre is végeztünk számításokat, nevezetesen egy pajzsmirigy-fantomra, amikor is az aktivítást a nyaki részen belül egy körhengerben koncentrálnak képzeltek el $N > n=1$, azaz egyetlen forrás volt jelen, s a testrészek a gyengítési közeg szerepét játszották/.

Az elliptikus hengerre mint integrációs tartományra definiált /10/ alakú integrálokat polárkoordináta-transzformációval négyszögtartományon értelmezett integrálokra vezettük vissza, melyeket közönséges integrálok egymásutánjaként számítottunk ki, mindenegyes integrálra Romberg-féle numerikus kvadraturát alkalmazva.

A jelzett berendezés hatásfokának kiszámítására - elliptikus henger, valamint az említett geometriákban elhelyezett fantom esetén - ALGOL programokat készítettünk. E számítások eredményeit, s az alkalmazott numerikus módszerek leírását a KFKI-72-30 reportban közzétettük.

A programsorozat feladata:

detektor teljes energia-csúcs hatásfokának számítása /az energiafüggést figyelmen kívül hagyó és figyelembevevő esetben egyaránt/

homogén forráseloszlás esetén
elliptikus hengerre

- álló detektor mellett /7.a ábra/ /DA04/
- scanning geometriában /7. b ábra/ /DA05/

BOMAB ember-utánpótló fantomra

- székeometriában /8. a ábra/ /DA06/
- ivgeometriában /8.b ábra/ /DA07/
- scanning geometriában /scanning-end-stop módszerrel/
/8.c ábra/ /DA08/

inhomogén forráseloszlás esetén
pajzsmirigy-fantomra

- székeometriában /DA09/
- scanning geometriában /scanning-end-stop módszerrel/ /DA10/

Input adatok:

Scanning geometria esetén a detektor középpontja a fantom szimmetriasíkjában egy $U_k = a + k \cdot h$ $/k=0,1,2,\dots,27/$ vízszintes tartóegyenesű ekvidisztans pontsorozat pontjaiban tartózkodhat, ahol $a = -113,4$ cm, $h = 8,4$ cm, és az origó a 8.c ábrán látható módon van megválasztva.

A 126 cm-es scanning-pálya kezdőpontjára a pontsor első hét $U_l = a + l \cdot h$ / $l=0,1,2,\dots,6$ / pontja jöhet szóba.

DAO8, DA10 elsőként

a scanning-pálya kezdőpontjának l sorszámát olvassa be.

A további bemenő adatok minden programra /DAO4-DA10/ közösek. DAO8, DA10 esetén ezekkel folytatódik, egyébként pedig ezekkel kezdődik a beolvasás:

kiv $\begin{cases} = 1 - \text{energiafüggés nélküli eset} \\ = 2 - \text{energiafüggést figyelembevevő számolások} \\ < 0 \text{ esetén a program befejezi futását} \end{cases}$

E $\begin{cases} > 0 \text{ az energia} \\ < 0 \text{ hatására a program áttér "kiv"} \\ \text{ soronkövetkező értékének olvasására} \end{cases}$

μ $\begin{cases} > 0 \text{ az aktuális E energiaszinthez tartozó gyengítési} \\ \text{ tényező} \\ < 0 \text{ esetén a program E következő értékét olvassa} \end{cases}$

Output adatok :

A sorozat minden programja az E és μ értékekkel együtt kiírja a hozzájuk tartozó hatásfokokat.

DAO4 és DAO5 minden μ -re két-két értéket nyomtat annak megfelelően, hogy "középen", vagy a "középtől" 80 cm-re elcsusztatott detektorra /DAO4/ ill. scanning-pályára /DAO5/ számolunk. A számolás csak rögzített méretű /30 és 21 cm-es tengelyekkel rendelkező 40 cm magas / elliptikus hengerre végezhető el.

DAO8, DA10 minden egyes μ esetén három hatásfokértéket szolgáltat, amelyek rendre a $\tau/t=0;0,14;0,21$ értékekhez tartoznak.

Fantom esetén a 3-as kapcsolóval szék- és ivgeometriában

minden egyes testrészsre,

scanning geometriában

minden egyes testrészsre valamennyi detektorállásban részeredményeket kapunk.



62.005



Kiadja a Központi Fizikai Kutató Intézet
Felelős kiadó: Szabó Ferenc, a KFKI Reaktor-
kutatási Tudományos Tanácsának elnöke
Szakmai lektor: Koblinger László
Példányszám: 135 Törzsszám: 73-8111
Készült a KFKI sokszorosító üzemében,
Budapest, 1973. április hó.